

Docket No.: 50395-270

**PATENT**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of : Customer Number: 20277

Toshiaki OKUNO : Confirmation Number:

Serial No.: : Group Art Unit:

Filed: April 22, 2004 : Examiner:

For: OPTICAL TRANSMISSION LINE AND OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM

**CLAIM OF PRIORITY AND  
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop Patent Application  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

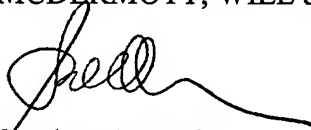
In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicant hereby claims the priority of:

**Japanese Patent Application No. 2003-117268, filed April 22, 2003**

A Certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY



Stephen A. Becker  
Registration No. 26,527

600 13<sup>th</sup> Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3096  
(202) 756-8000 SAB:prg  
Facsimile: (202) 756-8087  
**Date: April 22, 2004**

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

50395-270  
Okuno  
April 22, 2004

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2003年 4月 22日  
Date of Application:

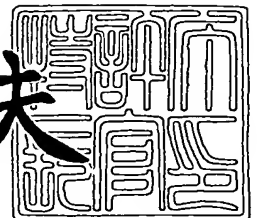
出 願 番 号 特願 2003-117268  
Application Number:  
[ST. 10/C]: [JP 2003-117268]

出 願 人 住友電気工業株式会社  
Applicant(s):

2004年 1月27日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2004-3003045

【書類名】 特許願

【整理番号】 103Y0059

【提出日】 平成15年 4月22日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/00

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会  
社横浜製作所内

    【氏名】 奥野 俊明

【特許出願人】

    【識別番号】 000002130

    【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100088155

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

    【識別番号】 100089978

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

    【識別番号】 100092657

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

    【識別番号】 100110582

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0106993

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光伝送路及び光伝送システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 の負分散ファイバと、前記第 1 の負分散ファイバに接続された正分散ファイバと、前記正分散ファイバに接続された第 2 の負分散ファイバとを備え、

前記第 1 の負分散ファイバは、 $1450\text{ nm} \sim 1600\text{ nm}$  の範囲内の所定波長において、分散スロープの絶対値が  $0.03\text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下、且つ全分散が  $-5\text{ ps/nm}$  以下であり、

前記第 2 の負分散ファイバは、前記所定波長において、全分散が  $-5\text{ ps/nm}$  以下であり、

前記所定波長において、前記第 1 の負分散ファイバと前記正分散ファイバとの全分散の和が  $5\text{ ps/nm}$  以上であることを特徴とする光伝送路。

【請求項 2】 第 1 の負分散ファイバと、前記第 1 の負分散ファイバに接続された分散シフトファイバと、前記分散シフトファイバに接続された正分散ファイバとを備え、

前記第 1 の負分散ファイバは、 $1450\text{ nm} \sim 1600\text{ nm}$  の範囲内の所定波長において、分散スロープの絶対値が  $0.03\text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下、且つ全分散が  $-5\text{ ps/nm}$  以下であり、

前記分散シフトファイバは、前記所定波長において、分散値が  $0\text{ ps/nm/km}$  であり、

前記所定波長において、前記第 1 の負分散ファイバと前記正分散ファイバとの全分散の和が  $0\text{ ps/nm}$  以上であることを特徴とする光伝送路。

【請求項 3】 第 1 の負分散ファイバと、前記第 1 の負分散ファイバに接続された分散マネジメントファイバと、前記分散マネジメントファイバに接続された正分散ファイバとを備え、

前記第 1 の負分散ファイバは、 $1450\text{ nm} \sim 1600\text{ nm}$  の範囲内の所定波長において、分散スロープの絶対値が  $0.03\text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下、且つ全分散が  $-5\text{ ps/nm}$  以下であり、

前記分散マネジメントファイバは、前記所定波長において、全分散が略  $0 \text{ ps} / \text{nm}$  であり、

前記所定波長において、前記第 1 の負分散ファイバと前記正分散ファイバとの全分散の和が  $0 \text{ ps} / \text{nm}$  以上であることを特徴とする光伝送路。

【請求項 4】 第 1 の負分散ファイバと、前記第 1 の負分散ファイバに接続された正分散ファイバとを備え、

前記第 1 の負分散ファイバは、 $1450 \text{ nm} \sim 1600 \text{ nm}$  の範囲内の所定波長において、分散スロープの絶対値が  $0.03 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$  以下、且つ全分散が  $-5 \text{ ps} / \text{nm}$  以下であり、

前記第 1 の負分散ファイバと前記正分散ファイバとの長さの和を  $L (\text{km})$  としたとき、 $L$  は  $10 \text{ km}$  以上であり、

前記所定波長において、前記第 1 の負分散ファイバと前記正分散ファイバとの全分散の和が、 $5 (\text{ps} / \text{nm})$  以上  $0.5 \times L (\text{ps} / \text{nm})$  以下であることを特徴とする光伝送路。

【請求項 5】 前記第 1 の負分散ファイバは、複数の負分散ファイバが縦列接続されて構成され、

前記複数の負分散ファイバのうち両端に設けられた負分散ファイバは、それぞれモードフィールド径が所定範囲内の値をもつことを特徴とする請求項 4 に記載の光伝送路。

【請求項 6】 前記正分散ファイバは、複数の正分散ファイバが縦列接続されて構成され、

前記複数の正分散ファイバのうち両端に設けられた正分散ファイバは、それぞれモードフィールド径が所定範囲内の値をもつことを特徴とする請求項 4 に記載の光伝送路。

【請求項 7】 前記第 1 の負分散ファイバの前記所定波長における実効断面積は、 $30 \mu\text{m}^2$  以上  $60 \mu\text{m}^2$  以下であることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の光伝送路。

【請求項 8】 前記所定波長において、前記第 1 の負分散ファイバと前記正分散ファイバとのモードフィールド径の差、及び前記第 2 の負分散ファイバと前

記正分散ファイバとのモードフィールド径の差は、ともに前記正分散ファイバのモードフィールド径の 4 0 % 以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送路。

【請求項 9】 前記所定波長において、前記正分散ファイバの分散スロープの絶対値が  $0.03 \text{ ps}^2/\text{km}$  以下であることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の光伝送路。

【請求項 10】 前記所定波長において、前記第 2 の負分散ファイバの分散スロープの絶対値が  $0.03 \text{ ps}^2/\text{km}$  以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送路。

【請求項 11】 前記所定波長において、前記第 1 の負分散ファイバと前記正分散ファイバとは、分散スロープが互いに異符号であることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の光伝送路。

【請求項 12】 前記第 1 の負分散ファイバと前記第 2 の負分散ファイバとは、長さが略等しく、且つ、前記所定波長において、分散値及び分散スロープが略等しいことを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送路。

【請求項 13】 前記所定波長において、前記第 1 の負分散ファイバ及び前記第 2 の負分散ファイバのうち少なくとも一方は、ラマンゲイン係数が  $2.0/\text{W}\cdot\text{km}$  以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の光伝送路。

【請求項 14】 信号光を出力する送信器と、前記送信器から出力された前記信号光を伝送する光伝送路とを備える光伝送システムであって、

前記光伝送路は、該光伝送路の最上流に設けられた第 1 の光ファイバと、前記第 1 の光ファイバに接続された第 2 の光ファイバとを有して構成され、

前記第 1 の光ファイバは、所定の信号光波長において、負の分散値をもち、且つ分散スロープの絶対値が  $0.03 \text{ ps}^2/\text{km}$  以下であり、

前記所定の信号光波長において、前記第 1 の光ファイバと前記第 2 の光ファイバとの全分散の和の絶対値は、前記第 1 の光ファイバの全分散の絶対値よりも小さいことを特徴とする光伝送システム。

【請求項 15】 前記光伝送路は、該光伝送路の最下流に設けられた第 3 の光ファイバを有して構成され、

前記第3の光ファイバは、前記所定の信号光波長において、負の分散値をもち、且つ分散スロープの絶対値が $0.03 \text{ ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする請求項14に記載の光伝送システム。

【請求項16】 前記第1の光ファイバは、前記所定の信号光波長において、実効断面積が $60 \mu\text{m}^2$ 以下であり、且つ非線形定数が前記第2の光ファイバより大きく、

前記第1の光ファイバと前記第2の光ファイバとの全分散の和が正であることを特徴とする請求項14に記載の光伝送システム。

【請求項17】 前記光伝送路に供給するラマン増幅用の励起光を出力する光源を備えることを特徴とする請求項14に記載の光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光伝送路及び光伝送システムに関する。

【0002】

【従来の技術】

波長分割多重（WDM：Wavelength Division Multiplexing）光伝送システムは、多波長の信号光を多重化して光伝送路により伝送するものであり、大容量の情報を高速に長距離に渡って伝送することが可能である。近年では、光伝送システムにおいて、更なる高速大容量化及び長距離化の要求が高まりつつある。かかる要求を満たすためには、信号光の波形劣化を抑制することが重要である。この観点から、長距離であっても光伝送路全体の累積波長分散の絶対値が小さいことが望まれ、また、光伝送路における光カー効果が抑制されることが望まれる。

【0003】

従来の光伝送路としては、例えば、2本の正分散ファイバの間に負分散ファイバが挿入された構成のものが知られている（特許文献1参照）。この光伝送路においては、正分散ファイバと負分散ファイバとを組み合わせることにより、伝送路全体の累積波長分散の絶対値を小さくしている。一方で、実効断面積の大きい正分散ファイバを伝送路の最上流に配置することにより、光カー効果を抑制するこ



とを図っている。

【0 0 0 4】

【特許文献 1】

特開平 9 - 3 1 8 8 2 4 号公報

【特許文献 2】

特開平 1 1 - 8 4 1 5 8 号公報

【特許文献 3】

特開 1 9 9 8 - 7 3 7 3 8 号公報

【特許文献 4】

特開 1 9 9 8 - 3 2 5 9 1 3 号公報

【0 0 0 5】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来の光伝送路が用いられた光伝送システムにおいては、光伝送路の最上流に配置された正分散ファイバに入射する信号光のパルスが圧縮される。それゆえ、信号光のパルスのピークパワーが増大し、光カー効果による信号光の波形劣化が助長されてしまうという問題がある。そのうえ、正分散ファイバにおいては、光カー効果により信号光に発生するチャープ成分が時間軸上でパルスの内側に入るため、信号光の波形変化は複雑なものとなる。

【0 0 0 6】

また、WDM光伝送においては、チャンネル数を増やし、より高速大容量の伝送を実現するためにも、信号光波長範囲が広いことが望まれている。ところが、光伝送路を構成する光ファイバの分散スロープの絶対値が大きい場合には、分散値の絶対値が小さい波長帯において信号光間の非線形相互作用が大きくなってしまいうため、結果として好適に使用できる信号光波長が狭い範囲に限定されてしまいうという問題がある。

【0 0 0 7】

そこで、本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、広い波長範囲に渡って、信号光の波形劣化を十分に抑えることができる光伝送路及び光伝送システムを提供することを目的とする。

## 【0 0 0 8】

## 【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明による光伝送路は、第 1 の負分散ファイバと、第 1 の負分散ファイバに接続された正分散ファイバと、正分散ファイバに接続された第 2 の負分散ファイバとを備え、第 1 の負分散ファイバは、 $1450\text{ nm} \sim 1600\text{ nm}$  の範囲内の所定波長において、分散スロープの絶対値が  $0.03\text{ ps}^2/\text{km}$  以下、且つ全分散が  $-5\text{ ps}^2/\text{nm}$  以下であり、第 2 の負分散ファイバは、所定波長において、全分散が  $-5\text{ ps}^2/\text{nm}$  以下であり、所定波長において、第 1 の負分散ファイバと正分散ファイバとの全分散の和が  $5\text{ ps}^2/\text{nm}$  以上であることを特徴とする。

## 【0 0 0 9】

この光伝送路においては、第 1 の負分散ファイバ、正分散ファイバ、及び第 2 の負分散ファイバが、この順に接続されている。したがって、光の伝送方向に沿って最上流となる位置に第 1 の負分散ファイバを配置することができる。これにより、伝送される光のパワーが大きい最上流の光ファイバにおいて、負分散による信号光パルスの拡がりが起こり易くなる。よって、信号光パルスのピークパワーが減少するため、光カー効果を小さくすることができる。また、第 1 の負分散ファイバにおいて、自己位相変調 (SPM: Self Phase Modulation) による信号光スペクトルの拡がり、負分散による信号光パルスの拡がり、とが共に起こり易くなる。このため、信号光スペクトルは、比較的単調に線形的な変化をする。以上より、この光伝送路においては、線形作用である分散を適当に与えてやることで、信号波形の歪みを容易に低減できる。

## 【0 0 1 0】

さらに、第 1 の負分散ファイバは、 $1450\text{ nm} \sim 1600\text{ nm}$  の範囲内の所定波長において、分散スロープの絶対値が  $0.03\text{ ps}^2/\text{km}$  以下である。これにより、広い信号光波長範囲に渡って信号波形の歪みを容易に低減できる。

## 【0 0 1 1】

また、光伝送路は、負分散ファイバ及び正分散ファイバを備えているため、こ

これらの光ファイバの分散値を適宜調整することにより、光伝送路全体の累積波長分散の絶対値を小さくすることが可能である。これにより、分散による信号光の波形劣化を十分に抑えることができる。

#### 【0012】

また、第1及び第2の負分散ファイバの間に正分散ファイバが設けられている。これにより、光伝送路の途中において累積波長分散の絶対値が許容値を超えて大きくなるのを防ぐことができる。

#### 【0013】

本発明による光伝送路は、第1の負分散ファイバと、第1の負分散ファイバに接続された分散シフトファイバと、分散シフトファイバに接続された正分散ファイバとを備え、第1の負分散ファイバは、1450nm～1600nmの範囲内の所定波長において、分散スロープの絶対値が $0.03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下、且つ全分散が $-5 \text{ ps/nm}$ 以下であり、分散シフトファイバは、所定波長において、分散値が $0 \text{ ps/nm/km}$ であり、所定波長において、第1の負分散ファイバと正分散ファイバとの全分散の和が $0 \text{ ps/nm}$ 以上であることを特徴としてもよい。

#### 【0014】

この光伝送路によれば、光の伝送方向に沿って最上流に負分散ファイバが位置するように配置することができる。これにより、信号光のスペクトルと波形とをある程度線形的に制御することができる。また、上記所定波長において、負分散ファイバの分散スロープの絶対値が $0.03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下と小さいため、広帯域に渡って好適に光伝送をすることができる光伝送路が実現される。

#### 【0015】

また、光伝送路は、負分散ファイバと正分散ファイバとを備えているため、これらの光ファイバの分散値を適宜調整することにより、光伝送路全体の累積波長分散の絶対値を小さくすることが可能である。これにより、分散による信号光の波形劣化を十分に抑えることができる。

#### 【0016】

また、負分散ファイバと正分散ファイバとの間に分散シフトファイバが設けら

れている。これにより、光伝送路の途中において累積波長分散の絶対値が許容値を超えて大きくなるのを防ぐことができるとともに、負の累積分散を維持することができる。よって、この光伝送路によれば、優れた伝送特性を保ちつつ、伝送路長を長くすることが可能である。

#### 【0017】

本発明による光伝送路は、第1の負分散ファイバと、第1の負分散ファイバに接続された分散マネジメントファイバと、分散マネジメントファイバに接続された正分散ファイバとを備え、第1の負分散ファイバは、 $1450\text{ nm} \sim 1600\text{ nm}$ の範囲内の所定波長において、分散スロープの絶対値が $0.03\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下、且つ全分散が $-5\text{ ps/nm}$ 以下であり、分散マネジメントファイバは、所定波長において、全分散が略 $0\text{ ps/nm}$ であり、所定波長において、第1の負分散ファイバと正分散ファイバとの全分散の和が $0\text{ ps/nm}$ 以上であることを特徴としてもよい。

#### 【0018】

この光伝送路によれば、光の伝送方向に沿って最上流に負分散ファイバが位置するように配置することができる。これにより、信号光のスペクトルと波形とをある程度線形的に制御することができる。また、上記所定波長において、負分散ファイバの分散スロープの絶対値が $0.03\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下と小さいため、広帯域に渡って好適に光伝送をすることができる光伝送路が実現される。

#### 【0019】

また、光伝送路は、負分散ファイバと正分散ファイバとを備えているため、これらの光ファイバの分散値を適宜調整することにより、光伝送路全体の累積波長分散の絶対値を小さくすることが可能である。これにより、分散による信号光の波形劣化を十分に抑えることができる。

#### 【0020】

また、負分散ファイバと正分散ファイバとの間に分散マネジメントファイバが設けられている。これにより、光伝送路の途中において累積波長分散の絶対値が許容値を超えて大きくなるのを防ぐことができるとともに、負の累積分散を維持することができる。よって、この光伝送路によれば、優れた伝送特性を保ちつつ

、伝送路長を長くすることが可能である。

#### 【0021】

本発明による光伝送路は、第1の負分散ファイバと、第1の負分散ファイバに接続された正分散ファイバとを備え、第1の負分散ファイバは、 $1450\text{ nm} \sim 1600\text{ nm}$ の範囲内の所定波長において、分散スロープの絶対値が $0.03\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下、且つ全分散が $-5\text{ ps/nm}$ 以下であり、第1の負分散ファイバと正分散ファイバとの長さの和を $L\text{ (km)}$ としたとき、 $L$ は $10\text{ km}$ 以上であり、所定波長において、第1の負分散ファイバと正分散ファイバとの全分散の和が、 $5\text{ (ps/nm)}$ 以上 $0.5 \times L\text{ (ps/nm)}$ 以下であることを特徴としてもよい。

#### 【0022】

この光伝送路によれば、光の伝送方向に沿って最上流に負分散ファイバが位置するように配置することができる。これにより、信号光のスペクトルと波形とをある程度線形的に制御することができる。また、上記所定波長において、負分散ファイバの分散スロープの絶対値が $0.03\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下と小さいため、広帯域に渡って好適に光伝送をすることができる光伝送路が実現される。

#### 【0023】

また、光伝送路は、負分散ファイバと正分散ファイバとを備えているため、これらの光ファイバの分散値を適宜調整することにより、光伝送路全体の累積波長分散の絶対値を小さくすることが可能である。これにより、分散による信号光の波形劣化を十分に抑えることができる。

#### 【0024】

第1の負分散ファイバは、複数の負分散ファイバが縦列接続されて構成され、複数の負分散ファイバのうち両端に設けられた負分散ファイバは、それぞれモードフィールド径が所定範囲内の値をもつことが好適である。この場合、負分散ファイバの接続ロスを低く抑えることができる。

#### 【0025】

正分散ファイバは、複数の正分散ファイバが縦列接続されて構成され、複数の正分散ファイバのうち両端に設けられた正分散ファイバは、それぞれモードフィ

ールド径が所定範囲内の値をもつことが好適である。この場合、正分散ファイバの接続ロスを低く抑えることができる。

#### 【0 0 2 6】

第1の負分散ファイバの所定波長における実効断面積は、 $30\ \mu\text{m}^2$ 以上 $60\ \mu\text{m}^2$ 以下であることが好適である。この場合、負分散ファイバにおける非線形位相シフト量を小さく抑えることができる。

#### 【0 0 2 7】

所定波長において、第1の負分散ファイバと正分散ファイバとのモードフィールド径の差、及び第2の負分散ファイバと正分散ファイバとのモードフィールド径の差は、ともに正分散ファイバのモードフィールド径の40%以下であることが好適である。この場合、第1の負分散ファイバ及び正分散ファイバ間の接続ロス、並びに正分散ファイバ及び第2の負分散ファイバ間の接続ロスをともに十分に低減することができる。

#### 【0 0 2 8】

所定波長において、正分散ファイバの分散スロープの絶対値が $0.03\ \text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であることが好適である。同じく、所定波長において、第2の負分散ファイバの分散スロープの絶対値が $0.03\ \text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であることが好適である。これらの場合、光伝送路全体の累積分散が波長毎に大きく異なるのを防ぐことができる。

#### 【0 0 2 9】

所定波長において、第1の負分散ファイバと正分散ファイバとは、分散スロープが互いに異符号であることが好適である。この場合、光伝送路における波長毎の累積分散の差をより小さくすることができる。

#### 【0 0 3 0】

第1の負分散ファイバと第2の負分散ファイバとは、長さが略等しく、且つ、所定波長において、分散値及び分散スロープが略等しいことが好適である。この場合、光伝送路を双方向伝送用の伝送路として好適に用いることができる。

#### 【0 0 3 1】

所定波長において、第1の負分散ファイバ及び第2の負分散ファイバのうち少

なくとも一方は、ラマンゲイン係数が  $2.0/W/km$  以下であることが好適である。こうすることにより、光伝送路を WDM 光伝送に適用した場合に、信号チャネル間のラマン相互作用によるチルトの発生を回避することができる。

#### 【0032】

また、本発明による光伝送システムは、信号光を出力する送信器と、送信器から出力された信号光を伝送する光伝送路とを備える光伝送システムであって、光伝送路は、該光伝送路の最上流に設けられた第1の光ファイバと、第1の光ファイバに接続された第2の光ファイバとを有して構成され、第1の光ファイバは、所定の信号光波長において、負の分散値をもち、且つ分散スロープの絶対値が  $0.03 ps/nm^2/km$  以下であり、所定の信号光波長において、第1の光ファイバと第2の光ファイバとの全分散の和の絶対値は、第1の光ファイバの全分散の絶対値よりも小さいことを特徴とする。

#### 【0033】

この光伝送システムによれば、所定の信号光波長において、各中継区間の最上流に位置する第1の光ファイバが負分散をもつため、光カー効果によるスペクトル広がりや波形変化とが線形的な振る舞いをする。よって、逆分散を適当に付加することで、信号光の波形劣化を十分に抑えることができる。また、所定の信号光波長において、第1の光ファイバの分散スロープの絶対値が  $0.03 ps/nm^2/km$  以下と小さいため、広帯域に渡って好適に光伝送をすることができる光伝送システムが実現される。

#### 【0034】

また、所定の信号光波長において、第1の光ファイバと第2の光ファイバとの全分散の和の絶対値は、第1の光ファイバの全分散の絶対値よりも小さい。これにより、この光伝送システムにおいては、分散による信号光の波形劣化を十分に抑えられる。

#### 【0035】

光伝送路は、該光伝送路の最下流に設けられた第3の光ファイバを有して構成され、第3の光ファイバは、所定の信号光波長において、負の分散値をもち、且つ分散スロープの絶対値が  $0.03 ps/nm^2/km$  以下であることが好適で

ある。これにより、双方向の光伝送が可能な光伝送システムを実現することができる。

#### 【0036】

第1の光ファイバは、所定の信号光波長において、実効断面積が $60\mu\text{m}^2$ 以下であり、且つ非線形定数が第2の光ファイバより大きく、第1の光ファイバと第2の光ファイバとの全分散の和が正であることが好適である。

#### 【0037】

本発明による光伝送システムは、光伝送路に供給するラマン増幅用の励起光を出力する光源を備えることが好適である。この場合、各中継区間において信号光のパワーが低下し過ぎるのを防ぐことができる。

#### 【0038】

##### 【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において、同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

#### 【0039】

図1は、本発明による光伝送路及び光伝送システムの一実施形態を示す概略構成図である。光伝送システム1は、光伝送路10、送信器61、受信器62、及び中継器63を備え、送信器61が出力する信号光を、光伝送路10により受信器62へと伝送するものである。この光伝送システム1においては、中継器63を介して縦列接続された複数の光伝送路10が、送信器61から受信器62に至る信号光経路を構成している。ここで、送信器61から、信号光経路上の最上流に配置された中継器63までの区間、各中継器63から隣り合う中継器63までの区間、及び信号光経路上の最下流に配置された中継器63から受信器62までの区間をそれぞれ「中継区間」と呼ぶことにする。

#### 【0040】

光伝送路10は、負分散ファイバ11（第1の負分散ファイバ）、正分散ファイバ12、及び負分散ファイバ13（第2の負分散ファイバ）が信号光経路に沿って上流側から順に縦列接続されて構成されている。これらのファイバ11, 12, 13は、送信器61が出力した信号光を受信器62へと伝送するものである。



。負分散ファイバ 11 としては、1450 nm～1600 nm の範囲内の所定波長において、分散スロープの絶対値が  $0.03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下であり、且つ全分散が  $-5 \text{ ps/nm}$  以下であるものが用いられる。所定波長とは、例えば 1550 nm である。一方、負分散ファイバ 13 としては、上記所定波長において、全分散が  $-5 \text{ ps/nm}$  以下であるものが用いられる。また、正分散ファイバ 12 としては、上記所定波長において、その全分散と負分散ファイバ 11 の全分散との和が  $5 \text{ ps/nm}$  以上となるものが用いられる。

#### 【0041】

送信器 61 は、複数の光源、及び合波器（ともに図示せず）を有している。複数の光源の各々は、相異なる波長の信号光を生成し、生成した信号光を出力する。合波器は、各光源から出力された信号光を多重化し、多重化した信号光を光伝送路 10 へと出力する。

#### 【0042】

受信器 62 は、分波器、及び複数の光検出器（ともに図示せず）を有している。分波器は、複数の光伝送路 10 により伝送された信号光を入力する。また、分波器は、入力した信号光を波長毎に分離し、分離した信号光を出力する。光検出器は、分波器が分離・出力した信号光を検出する。

#### 【0043】

中継器 63 は、隣り合う 2 つの光伝送路 10 の間にそれぞれ設けられており、上流側の光伝送路 10 から入力した信号光を増幅し、増幅した信号光を下流側の光伝送路 10 へと出力する。

#### 【0044】

また、光伝送システム 1 は、光カプラ 64、及び励起光源 65 を備える。光カプラ 64 は、各中継区間において、光伝送路 10 上の出力端付近に設けられている。この光カプラ 64 は、光伝送路 10 上において、上流側から入力された信号光を下流側へと出力する。また、光カプラ 64 には、励起光源 65 が接続されている。励起光源 65 は、例えば半導体レーザであり、ラマン増幅用の励起光を出力するものである。励起光源 65 が出力した励起光は、光カプラ 64 によって光伝送路 10 に供給される。

## 【0045】

上記構成の光伝送システム1において、送信器61から出力された信号光は、光伝送路10に入力される。光伝送路10に入力された信号光は、負分散ファイバ11、正分散ファイバ12、及び負分散ファイバ13によって、各中継区間を伝送される。一方、励起光源65から出力されたラマン増幅用の励起光は、光カプラ64により光伝送路10に供給される。この励起光により、各中継区間を伝送する信号光はラマン増幅を受ける。また、信号光は、隣接する中継区間どうしの間において、中継器63によっても増幅を受ける。全ての中継区間を伝送された信号光は、受信器62によって受信される。

## 【0046】

本実施形態による光伝送路、及び光伝送システムの効果を説明する。光伝送路10を構成する3本の光ファイバ、すなわち負分散ファイバ11、正分散ファイバ12及び負分散ファイバ13のうち、各中継区間において最上流に位置する光ファイバは、負分散ファイバ11である。これにより、伝送される信号光のパワーが大きい最上流の光ファイバにおいて、負分散による信号光パルスの拡がりが起こる。よって、信号光パルスのピークパワーが減少するため、光カー効果を小さくすることができる。また、負分散ファイバ11においては、自己位相変調による信号光スペクトルの拡がり、と、負分散による信号光パルスの拡がりとは共に起こる。このため、信号光スペクトルは、比較的単調に線形的な変化をする。以上説明したように、光伝送路10においては、最上流に負分散ファイバ11が配置されることにより、信号光の波形とスペクトルとを線形に制御することができる。

## 【0047】

さらに、負分散ファイバ11は、1450nm～1600nmの範囲内の所定波長において、分散スロープの絶対値が $0.03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下である。このように、光カー効果の影響が大きい最上流の光ファイバにおいて分散スロープの絶対値が小さいため、広い信号光波長範囲に渡って信号波形の歪みを容易に低減できる。

## 【0048】

また、光伝送路 10 は、負分散ファイバ 11、13 と正分散ファイバ 12 とを備えているため、これらの光ファイバ 11、12、13 の分散値を適宜調整することにより、光伝送路 10 全体の累積波長分散の絶対値を小さくすることが可能である。これにより、分散による信号光の波形劣化を十分に抑えることができる。

#### 【0049】

また、2 本の負分散ファイバ 11、13 の間に正分散ファイバ 12 が設けられている。これにより、光伝送路 10 の途中において累積波長分散の絶対値が許容値を超えて大きくなるのを防ぐことができる。例えば、負分散ファイバ 11 に対して直接に負分散ファイバ 13 を接続した場合には、負分散ファイバ 13 の出射端において、累積波長分散が負に大きくなり過ぎてしまう。

#### 【0050】

また、負分散ファイバ 11 に接続された正分散ファイバ 12 は、SPM によりスペクトルが広がった信号光に対して、パルスを圧縮するように作用する。ここで、負分散ファイバ 11 と正分散ファイバ 12 との全分散の和が  $5 \text{ ps/nm}$  以上と正の値をとることにより、正分散ファイバ 12 を伝送された直後の信号光のパルスは、光伝送路 10 に入力された時点よりもシャープになり、受信感度が改善することが期待される。

#### 【0051】

一方、光伝送システム 1 は、上記の光伝送路 10 を備えているため、光カー効果による信号光の波形劣化、及び分散による信号光の波形劣化の何れをも十分に抑えることができる。また、光伝送システム 1 においては、光伝送路 10 にラマン増幅用の励起光を供給する光カップラ 64 及び励起光源 65 が設けられているため、各中継区間において信号光のパワーが低下し過ぎるのを防ぐことができる。ただし、ラマン増幅をする必要がなければ、光カップラ 64 及び励起光源 65 を設けなくてもよい。

#### 【0052】

なお、負分散ファイバ 11 の実効断面積  $A_{\text{eff}}$  は、上記所定波長において、好ましくは  $30 \mu\text{m}^2$  以上  $60 \mu\text{m}^2$  以下、より好ましくは  $40 \mu\text{m}^2$  以上  $60 \mu\text{m}^2$

以下、更に好ましくは  $50\ \mu\text{m}^2$ 以上  $60\ \mu\text{m}^2$ 以下であるとよい。これらの場合、伝送劣化が実用上問題のない程度になるまで、負分散ファイバ 11 における非線形位相シフト量を小さく抑えることができる。

#### 【0053】

また、上記所定波長において、負分散ファイバ 11 と正分散ファイバ 12 とのモードフィールド径 (MFD) の差、及び負分散ファイバ 13 と正分散ファイバ 12 との MFD の差は、ともに好ましくは正分散ファイバ 12 の MFD の 40% 以下、より好ましくは正分散ファイバ 12 の MFD の 20% 以下であるとよい。これらの場合、負分散ファイバ 11 及び正分散ファイバ 12 間の接続ロス、並びに正分散ファイバ 12 及び負分散ファイバ 13 間の接続ロスをともに十分に低減することができる。

#### 【0054】

また、上記所定波長において、正分散ファイバ 12 の分散スロープの絶対値が  $0.03\ \text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$  以下であることが好適である。同じく、上記所定波長において、負分散ファイバ 13 の分散スロープの絶対値が  $0.03\ \text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$  以下であることが好適である。これらの場合、光伝送路 10 全体の累積分散が波長毎に大きく異なるのを防ぐことができる。

#### 【0055】

また、上記所定波長において、負分散ファイバ 11 と正分散ファイバ 12 とは、分散スロープが互いに異符号であることが好適である。この場合、光伝送路 10 における波長毎の累積分散の差をより小さくすることができる。

#### 【0056】

また、負分散ファイバ 11 と負分散ファイバ 13 とは、長さが略等しく、且つ、上記所定波長において、分散値及び分散スロープが略等しいことが好適である。この場合、光伝送路 10 を双方向伝送用の伝送路として好適に用いることができる。さらに、この光伝送路 10 を双方向の光伝送を行う光伝送システムに適用すれば、伝送方向毎に各々独立して光伝送路を設ける必要がないため、光伝送路の布設作業が容易になる。

#### 【0057】

また、上記所定波長において、負分散ファイバ 1 1, 1 3 のうち少なくとも一方は、ラマンゲイン係数 ( $g_R/A_{\text{eff}}$ ) が  $2.0/W/km$  以下であることが好適である。こうすることにより、光伝送路 1 0 を WDM 光伝送に適用した場合に、信号チャネル間のラマンゲイン相互作用によるチルトの発生を回避することができる。

### 【0 0 5 8】

ここで、負分散ファイバ 1 1, 1 3 及び正分散ファイバ 1 2 として、それぞれ用いることができる光ファイバの諸元の一例を表 1 に示す。なお、表中の値は、いずれも波長 1 5 5 0 nm におけるものである。

### 【0 0 5 9】

【表 1】

	負分散ファイバ 1 1	正分散ファイバ 1 2	負分散ファイバ 1 3
分散値 ( $ps/nm/km$ )	- 8	1 0	- 1 6
分散スロープ ( $ps/nm^2/km$ )	- 0. 0 0 6	0	- 0. 0 1
ファイバの全長 (km)	3 0	4 0	1 0
損失 (dB/km)	0. 2	0. 2	0. 2 1
実効断面積 ( $\mu m^2$ )	4 7	5 1	4 2
モードフィールド径 ( $\mu m$ )	7. 7	8	7. 4
ラマンゲイン係数 ( $1/W/km$ )	0. 4	0. 3	0. 7

### 【0 0 6 0】

また、負分散ファイバ 1 1, 1 3 及び正分散ファイバ 1 2 としては、それぞれ表 2 又は表 3 に諸元を示す光ファイバを用いてもよい。

【表 2】

	負分散ファイバ 1 1	正分散ファイバ 1 2	負分散ファイバ 1 3
分散値 (ps/nm/km)	-8	6	-4
分散スロープ (ps/nm <sup>2</sup> /km)	0.03	0.02	0.06
ファイバの全長 (km)	20	40	20
損失 (dB/km)	0.2	0.2	0.2
実効断面積 (μm <sup>2</sup> )	45	53	50
モードフィールド径 (μm)	7.5	8.2	7.9
ラマンゲイン係数 (1/W/km)	0.4	0.3	0.4

【表 3】

	負分散ファイバ 1 1	正分散ファイバ 1 2	負分散ファイバ 1 3
分散値 (ps/nm/km)	-16	10	-16
分散スロープ (ps/nm <sup>2</sup> /km)	-0.01	0	-0.01
ファイバの全長 (km)	15	50	15
損失 (dB/km)	0.21	0.2	0.21
実効断面積 (μm <sup>2</sup> )	40	51	40
モードフィールド径 (μm)	7.3	8	7.3
ラマンゲイン係数 (1/W/km)	0.8	0.3	0.8

## 【0061】

図 2 (a) ~ 図 2 (c) は、負分散ファイバ 1 1, 1 3 及び正分散ファイバ 1 2 として、それぞれ表 1 ~ 表 3 に諸元を示す光ファイバを用いた場合において、光伝送路 10 の累積分散と入力端からの距離との関係を示すグラフである。グラフの縦軸は累積分散 (ps/nm) を表し、横軸は入力端からの距離 (km) を表す。例えば、図 2 (a) において、横軸の値が 30 (km) のとき、縦軸の値は -240 (ps/nm) となっている。これは、光伝送路 10 上の入力端から 30 km の地点、すなわち負分散ファイバ 1 1 と正分散ファイバ 1 2 との接続点において、入力端からの累積分散が -240 ps/nm であるということを意味

している。この場合は、言い換えると、負分散ファイバ 11 の全分散が  $-240 \text{ ps/nm}$  ということである。

#### 【0062】

図 2 (a) ~ 図 2 (c) の各グラフにおいて、累積分散の値が最小となる部分が負分散ファイバ 11 と正分散ファイバ 12 との接続点に対応し、累積分散の値が最大となる部分が正分散ファイバ 12 と負分散ファイバ 13 との接続点に対応する。また、図 2 (a) 及び図 2 (b) においては、入力端からの距離が  $80 \text{ km}$  のときの累積分散、すなわち光伝送路 10 全体の累積分散が 0 となっているのに対し、図 2 (c) においては、 $20 \text{ ps/nm/km}$  と 0 になっていない。このように 1 つの信号光波長（ここでは  $1550 \text{ nm}$ ）における光伝送路 10 全体の累積分散を 0 としない場合には、他の何れかの信号光波長において 0 としてもよいし、何れの信号光波長においても 0 としないことにしてもよい。

#### 【0063】

図 3 は、図 1 の光伝送路 10 の一変形例を示す概略構成図である。光伝送路 20 は、光ファイバ 21（第 1 の光ファイバ）、光ファイバ 22（第 2 の光ファイバ）、及び光ファイバ 23（第 3 の光ファイバ）が順に縦列接続されて構成されている。この光伝送路 20 は、光伝送システム 1 の各中継区間において、光ファイバ 21 が最上流に、光ファイバ 23 が最下流に位置するように配置される。

#### 【0064】

光ファイバ 21, 23 は、所定の信号光波長（例えば  $1550 \text{ nm}$ ）において、負の分散値をもち、且つ分散スロープの絶対値が  $0.03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下である。特に、光伝送路 20 のにおいては、光ファイバ 21 と光ファイバ 23 とは、長さも分散特性も等しい同一の光ファイバである。また、上記所定の信号光波長において、光ファイバ 21 と光ファイバ 22 との全分散の和の絶対値は、光ファイバ 21 の全分散の絶対値よりも小さい。すなわち、光ファイバ 22 としては、光ファイバ 21 の分散を補償するような分散特性をもつものが用いられる。

#### 【0065】

上記構成の光伝送路 20 を備えた光伝送システム 1 によれば、所定の信号光波

長において、各中継区間の最上流に位置する光ファイバ21が負分散をもつため、光カー効果によるスペクトル広がりや波形劣化とが線形的な振る舞いをする。よって、逆分散を適当に付加することで、信号光の波形劣化を十分に抑えることができる。また、所定の信号光波長において、光ファイバ21の分散スロープの絶対値が $0.03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下と小さいため、広帯域に渡って好適に光伝送をすることができる光伝送システム1が実現される。

#### 【0066】

また、所定の信号光波長において、光ファイバ21と光ファイバ22との全分散の和の絶対値は、光ファイバ21の全分散の絶対値よりも小さい。これにより、光伝送路20を備えた光伝送システム1においては、分散による信号光の波形劣化を十分に抑えられる。

#### 【0067】

また、光伝送路20は、光ファイバ21と同じ長さおよび分散特性をもつ光ファイバ23を備えている。これにより、光伝送路20を双方向伝送用の伝送路として好適に用いることができる。

#### 【0068】

なお、光ファイバ21は、所定の信号光波長において、実効断面積 $A_{\text{eff}}$ が $60 \mu\text{m}^2$ 以下であり、且つ非線形定数 $\gamma$ が光ファイバ22の $\gamma$ よりも大きいことが好適である。ここで、 $\lambda$ を信号光波長、 $n_2$ を非線形屈折率とすると、 $\gamma = (2\pi n_2) / (\lambda A_{\text{eff}})$ である。

#### 【0069】

図4は、図1の光伝送路10の他の変形例を示す概略構成図である。光伝送路30は、負分散ファイバ31、分散シフトファイバ32、及び正分散ファイバ33が順に縦列接続されて構成されている。この光伝送路30は、光伝送システム1の各中継区間において、負分散ファイバ31が最上流に、正分散ファイバ33が最下流に位置するように配置される。

#### 【0070】

負分散ファイバ31は、 $1450 \text{ nm} \sim 1600 \text{ nm}$ の範囲内の所定波長において、分散スロープの絶対値が $0.03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下、且つ全分散が



- 5 p s / n m 以下である。また、分散シフトファイバ 3 2 は、上記所定波長において、分散値が 0 p s / n m / k m である。また、上記所定波長において、負分散ファイバ 3 1 と正分散ファイバ 3 3 との全分散の和は 0 p s / n m 以上である。

#### 【 0 0 7 1 】

上記構成の光伝送路 3 0 によれば、各中継区間の最上流に負分散ファイバ 3 1 が位置するため、信号光のスペクトルと波形とをある程度線形的に制御することができる。また、上記所定波長において、負分散ファイバ 3 1 の分散スロープの絶対値が 0 . 0 3 p s / n m <sup>2</sup> / k m 以下と小さいため、広帯域に渡って好適に光伝送をすることができる光伝送路 3 0 が実現されている。

#### 【 0 0 7 2 】

また、光伝送路 3 0 は、負分散ファイバ 3 1 と正分散ファイバ 3 3 とを備えているため、これらの光ファイバ 3 1 , 3 3 の分散値を適宜調整することにより、光伝送路 3 0 全体の累積波長分散の絶対値を小さくすることが可能である。これにより、分散による信号光の波形劣化を十分に抑えることができる。特に、負分散ファイバ 3 1 と正分散ファイバ 3 3 との全分散の和が 0 p s / n m 以上となることにより、光伝送路 3 0 を伝送された直後の信号光のパルスは、光伝送路 3 0 に入力された時点よりもシャープになり、受信感度が改善することが期待される。

#### 【 0 0 7 3 】

また、負分散ファイバ 3 1 と正分散ファイバ 3 3 との間に分散シフトファイバ 3 2 が設けられている。これにより、光伝送路 3 0 の途中において累積波長分散の絶対値が許容値を超えて大きくなるのを防ぐことができるとともに、負の累積分散を維持することができる。よって、光伝送路 3 0 によれば、優れた伝送特性を保ちつつ、伝送路長を長くすることが可能である。

#### 【 0 0 7 4 】

図 5 は、図 1 の光伝送路 1 0 の他の変形例を示す概略構成図である。光伝送路 4 0 は、負分散ファイバ 4 1、分散マネジメントファイバ 4 2、及び正分散ファイバ 4 3 が順に縦列接続されて構成されている。この光伝送路 4 0 は、光伝送シ

ステム 1 の各中継区間において、負分散ファイバ 4 1 が最上流に、正分散ファイバ 4 3 が最下流に位置するように配置される。

#### 【0 0 7 5】

負分散ファイバ 4 1 は、1 4 5 0 n m ～ 1 6 0 0 n m の範囲内の所定波長において、分散スロープの絶対値が  $0.03 \text{ p s} / \text{nm}^2 / \text{km}$  以下、且つ全分散が  $-5 \text{ p s} / \text{nm}$  以下である。また、分散マネジメントファイバ 4 2 は、上記所定波長において、全分散が  $0 \text{ p s} / \text{nm}$  である。また、上記所定波長において、負分散ファイバ 4 1 と正分散ファイバ 4 3 との全分散の和は  $0 \text{ p s} / \text{nm}$  以上である。

#### 【0 0 7 6】

上記構成の光伝送路 4 0 によれば、各中継区間の最上流に負分散ファイバ 4 1 が位置するため、信号光のスペクトルと波形とをある程度線形的に制御することができる。また、上記所定波長において、負分散ファイバ 4 1 の分散スロープの絶対値が  $0.03 \text{ p s} / \text{nm}^2 / \text{km}$  以下と小さいため、広帯域に渡って好適に光伝送をすることができる光伝送路 4 0 が実現されている。

#### 【0 0 7 7】

また、光伝送路 4 0 は、負分散ファイバ 4 1 と正分散ファイバ 4 3 とを備えているため、これらの光ファイバ 4 1, 4 3 の分散値を適宜調整することにより、光伝送路 4 0 全体の累積波長分散の絶対値を小さくすることが可能である。これにより、分散による信号光の波形劣化を十分に抑えることができる。特に、負分散ファイバ 4 1 と正分散ファイバ 4 3 との全分散の和が  $0 \text{ p s} / \text{nm}$  以上となることにより、光伝送路 4 0 を伝送された直後の信号光のパルスは、光伝送路 4 0 に入力された時点よりもシャープになり、受信感度が改善することが期待される。

#### 【0 0 7 8】

また、負分散ファイバ 4 1 と正分散ファイバ 4 3 との間に分散マネジメントファイバ 4 2 が設けられている。これにより、光伝送路 4 0 の途中において累積波長分散の絶対値が許容値を超えて大きくなるのを防ぐことができるとともに、負の累積分散を維持することができる。よって、光伝送路 4 0 によれば、優れた伝

送特性を保ちつつ、伝送路長を長くすることが可能である。

### 【0079】

ここで、負分散ファイバ41、分散マネジメントファイバ42、及び正分散ファイバ43として、それぞれ用いることができる光ファイバの諸元の一例を表4に示す。なお、表中の値は、いずれも波長1550nmにおけるものである。また、分散マネジメントファイバ42は、正分散ファイバと負分散ファイバとを組合わせて作製したものであり、表中の一部においては、（正分散ファイバの諸元）／（負分散ファイバの諸元）という形式で表記している。

### 【0080】

【表4】

	負分散ファイバ41	分散マネジメント ファイバ42	正分散ファイバ43
分散値 (ps/nm/km)	-8	8/-8	17.5
分散スロープ (ps/nm <sup>2</sup> /km)	-0.006	0.01/ -0.01	0.06
ファイバの全長 (km)	22	48	10
損失 (dB/km)	0.2	0.2	0.2
実効断面積 (μm <sup>2</sup> )	47	51/47	85
モードフィールド径 (μm)	7.7	8/7.7	10.5
ラマンゲイン係数 (1/W/km)	0.4	0.4/0.3	0.2

### 【0081】

図6は、負分散ファイバ41、分散マネジメントファイバ42、及び正分散ファイバ43として、それぞれ表4に諸元を示す光ファイバを用いた場合において、光伝送路40の累積分散と入力端からの距離との関係を示すグラフである。グラフの縦軸は累積分散（ps/nm）を表し、横軸は入力端からの距離（km）を表す。グラフにおいて、累積分散の値が一定となっている領域が分散マネジメントファイバ42に対応する。

### 【0082】

図 7 は、図 1 の光伝送路 1 0 の他の変形例を示す概略構成図である。光伝送路 5 0 は、負分散ファイバ 5 1、及び正分散ファイバ 5 2 が縦列接続されて構成されている。この光伝送路 5 0 は、光伝送システム 1 の各中継区間において、負分散ファイバ 5 1 が上流側に、正分散ファイバ 5 2 が下流側に位置するように配置される。

#### 【0 0 8 3】

負分散ファイバ 5 1 は、 $1450\text{ nm} \sim 1600\text{ nm}$  の範囲内の所定波長において、分散スロープの絶対値が  $0.03\text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下、且つ全分散が  $-5\text{ ps/nm}$  以下である。また、負分散ファイバ 5 1 と正分散ファイバ 5 2 との長さの和を  $L\text{ (km)}$  としたとき、 $L$  は  $10\text{ km}$  以上であり、上記所定波長において、負分散ファイバ 5 1 と正分散ファイバ 5 2 との全分散の和が、 $5\text{ (ps/nm)}$  以上  $0.5 \times L\text{ (ps/nm)}$  以下である。

#### 【0 0 8 4】

上記構成の光伝送路 5 0 によれば、各中継区間の最上流に負分散ファイバ 5 1 が位置するため、信号光のスペクトルと波形とをある程度線形的に制御することができる。また、上記所定波長において、負分散ファイバ 5 1 の分散スロープの絶対値が  $0.03\text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下と小さいため、広帯域に渡って好適に光伝送をすることができる光伝送路 5 0 が実現されている。

#### 【0 0 8 5】

また、光伝送路 5 0 は、負分散ファイバ 5 1 と正分散ファイバ 5 2 とを備えているため、これらの光ファイバ 5 1、5 2 の分散値を適宜調整することにより、光伝送路 5 0 全体の累積波長分散の絶対値を小さくすることが可能である。これにより、分散による信号光の波形劣化を十分に抑えることができる。実際、光伝送路 5 0 においては、負分散ファイバ 5 1 と正分散ファイバ 5 2 との全分散の和を  $0.5 \times L\text{ (ps/nm)}$  以下とし、光伝送路 5 0 全体の累積分散を小さく抑えている。さらに、負分散ファイバ 5 1 と正分散ファイバ 5 2 との全分散の和を  $5\text{ (ps/nm)}$  以上としているため、光伝送路 5 0 を伝送された直後の信号光のパルスは、光伝送路 5 0 に入力された時点よりもシャープになり、受信感度が改善することが期待される。

**【0086】**

図8は、図7の負分散ファイバ51の一構成例を示す概略構成図である。負分散ファイバ51は、相異なるMFDを有する2本の負分散ファイバ51a, 51bが縦列接続されて構成されている。負分散ファイバ51aの一端は、図1の光伝送システム1において送信器61又は中継器63の出力端に接続され、また、負分散ファイバ51bの一端は、図7の正分散ファイバ52の入力端に接続される。

**【0087】**

ここで、負分散ファイバ51a, 51bのMFDは、それぞれ送信器61（又は中継器63）、及び正分散ファイバ52との接続ロスが許容値以下となるように、所定範囲内の値をもっている。これにより、負分散ファイバ51の入力端及び出力端において、ともに接続ロスを小さく抑えることができる。なお、負分散ファイバ51a, 51bの間に、さらに1又は2以上の負分散ファイバが接続されていてもよい。例えば、負分散ファイバ51a, 51b間に、これらのファイバ51a, 51bの中間のMFDをもつ負分散ファイバを挿入することにより、負分散ファイバ51a, 51b間の接続ロスを緩和することができる。

**【0088】**

図9は、図7の正分散ファイバ52の一構成例を示す概略構成図である。正分散ファイバ52は、相異なるMFDを有する2本の正分散ファイバ52a, 52bが縦列接続されて構成されている。正分散ファイバ52aの一端は、図7の負分散ファイバ51の出力端に接続され、また、正分散ファイバ52bの一端は、図1の光伝送システム1において中継器63又は受信器62の入力端に接続される。

**【0089】**

ここで、正分散ファイバ52a, 52bのMFDは、それぞれ負分散ファイバ51、及び中継器63（又は受信器62）との接続ロスが許容値以下となるように、所定範囲内の値をもっている。これにより、正分散ファイバ52の入力端及び出力端において、ともに接続ロスを小さく抑えることができる。なお、正分散ファイバ52a, 52bの間に、さらに1又は2以上の正分散ファイバが接続さ

れていてもよい。例えば、正分散ファイバ 52a, 52b 間に、これらのファイバ 52a, 52b の中間の MFD をもつ正分散ファイバを挿入することにより、正分散ファイバ 52a, 52b 間の接続ロスを緩和することができる。

#### 【0090】

図 10 は、図 1 の実施形態による光伝送路の効果を確認するための実験に用いた光伝送路を示す概略構成図である。光伝送路 80 は、2 本の光ファイバ 81, 82 が縦列接続されて構成されている。光ファイバ 81, 82 は、ともに長さが 40 km である。また、光ファイバ 82 の分散値は、光ファイバ 81 の分散値と符号が逆で、絶対値が等しい。

#### 【0091】

実験では、光伝送路 80 を WDM 光伝送システムに適用した場合の伝送ペナルティを測定した。すなわち、このシステムにおいては、各中継区間を光伝送路 80 によって構成した。また、光ファイバ 81 を各中継区間の上流側、光ファイバ 82 を各中継区間の下流側に配置した。ここで、信号光の波数（チャンネル数）を 8、光伝送路 80 への信号光の入力パワーを 1 チャンネルあたり -2 dBm、中継区間数を 5 とした。また、信号光については、NRZ 波形のものを扱い、チャープフリーとした。

#### 【0092】

図 11 (a) 及び図 11 (b) は、図 10 の実験において、伝送ペナルティと光ファイバ 81 の分散値との関係を測定した結果を示すグラフである。これらのグラフは、最悪チャンネル、すなわち伝送ペナルティが最大となるチャンネルにおける伝送ペナルティを示している。グラフの縦軸は伝送ペナルティ (dB) を表し、横軸は光ファイバ 81 の分散値 ( $\text{ps/nm/km}$ ) を表す。

#### 【0093】

図 11 (a) において、各チャンネルのビットレートは 10 Gb/s である。また、グラフ中に丸印で示すプロット p1 及び三角印で示すプロット p2 は、それぞれチャンネル間隔を 100 GHz 及び 50 GHz として測定した結果を示している。グラフより、上流側の光ファイバ 81 が負分散をもつ場合の方が、正分散をもつ場合に比して、伝送ペナルティが低減されることがわかる。

## 【0094】

一方、図11(b)において、各チャネルのビットレートは40Gb/sである。また、グラフ中に丸印で示すプロットp3は、チャネル間隔を100GHzとして測定した結果を示している。グラフより、光ファイバ81が負分散をもつ場合であっても、負分散の絶対値が大き過ぎると、伝送ペナルティが増大してしまうことがわかる(光ファイバ81の分散値が $-16\text{ ps/nm/km}$ のときのプロットを参照)。これは、光伝送路80の途中、特に光ファイバ81の出力端付近において、累積分散の絶対値が許容値を超えて大きくなり過ぎることが原因であると考えられる。

## 【0095】

これに対して、光伝送路80の途中で累積分散の絶対値が大きくなり過ぎるのを防ぐために、図10において、光ファイバ81を2分割して、分割された光ファイバ81の間に光ファイバ82を挿入した。すなわち、この光伝送路は、入力端から始めの20kmが光ファイバ81、次の40kmが光ファイバ82、そして出力端までの残りの20kmが光ファイバ81で構成されている。この光伝送路において光ファイバ81の分散値を $-16\text{ ps/nm/km}$ として伝送ペナルティを測定した結果が、図11(b)に×印で示すプロットp4である。光伝送路が図10の構成をとる場合に比して、伝送ペナルティが大きく低減したことがわかる。この結果より、2本の負分散ファイバの間に正分散ファイバが挿入された構成の光伝送路は、優れた伝送特性を示すことが判明した。

## 【0096】

また、図10において、光ファイバ81と光ファイバ82との間に、全分散が $0\text{ ps/nm}$ である分散マネジメントファイバを挿入した。挿入した分散マネジメントファイバの長さは50kmである。また、光伝送路全体の長さを一定にするため、光ファイバ81、82の長さを調整した。すなわち、この光伝送路は、入力端から始めの15kmが光ファイバ81、次の50kmが分散マネジメントファイバ、そして出力端までの残りの15kmが光ファイバ82で構成されている。この光伝送路において光ファイバ81の分散値を $-16\text{ ps/nm/km}$ として伝送ペナルティを測定した結果が、図11(b)に四角印で示すプロットp

5である。光伝送路が図10の構成をとる場合に比して、伝送ペナルティが大きく低減したことがわかる。この結果より、負分散ファイバ及び正分散ファイバの間に分散マネジメントファイバが挿入された構成の光伝送路は、優れた伝送特性を示すことが判明した。

#### 【0097】

ところで、図11(b)のグラフからわかるように、光ファイバ81の分散値については、負分散であっても望ましい領域が存在する。分散値の絶対値が大き過ぎれば、上述のように累積分散の絶対値が大きくなってしまい、一方、分散値の絶対値が小さ過ぎれば、信号チャネル間の非線形相互作用が増大してしまうからである。特に、数百km以上の長距離伝送では、要求される分散値が厳しく、 $-12\text{ ps/nm/km}$ から $-6\text{ ps/nm/km}$ までの範囲が望ましい。一方、想定される信号光波長範囲としては、少なくとも $1410\text{ nm}\sim 1610\text{ nm}$ の $200\text{ nm}$ は、テラビット伝送の実現に向けて必要と考えられる。よって、光ファイバ81の分散スロープは、 $0.03\text{ ps/nm/km}$ 以下であることが望ましいといえる。

#### 【0098】

図12は、2本の光ファイバを互いに接続する場合において、接続ロスと2本の光ファイバのMFDの比との関係を求めた実験結果を示すグラフである。グラフの縦軸は接続ロス(dB)を表し、横軸は2本の光ファイバのMFDの比を表す。ここでMFDの比は、小さい方のMFDを大きい方のMFDで除したものである。メトロ系、陸上中距離系においては、接続ロスを1dB以下に抑えることができれば、実用上問題がない。この場合、グラフより、MFDの比が0.6以上1.0以下であることが必要である。さらに、長距離系においては、接続ロスを0.2dB以下に抑えることが望ましく、この場合、MFDの比は0.8以上1.0以下であることが必要である。

#### 【0099】

図13は、光ファイバにおける非線形位相シフトと実効断面積との関係を求めた実験結果を示すグラフである。グラフの縦軸は非線形位相シフト(rad)を表し、横軸は実効断面積 $A_{\text{eff}}$ ( $\mu\text{m}^2$ )を表す。グラフ中の曲線c1～c3は、



それぞれ光ファイバに入力する光のパワー  $P_{in}$  を 5 mW、4 mW、3 mW とした場合の結果を示している。また、光ファイバの長さを 8 0 k m、非線形屈折率  $n_2$  を  $3.0 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ 、信号光波長  $\lambda_S$  を 1 5 5 0 n m とした。

#### 【0 1 0 0】

非線形位相シフトが 1. 0 r a d 以下であれば、伝送劣化を実用上問題のない程度にまで抑えることができると考えられる。メトロ系のように光増幅器を用いない光伝送システムにおいては、 $P_{in}$  は 3 mW 程度が現状では上限である。この場合、グラフより、 $A_{eff}$  が  $30 \mu \text{ m}^2$  以上であれば、非線形位相シフトを 1. 0 r a d 以下に抑えることができる。また、陸上系での WDM 光伝送においては、1 チャネルあたり  $P_{in}$  が 4 mW 以下であることが、システム機器に無理のない動作条件と想定される。この場合、グラフより、 $A_{eff}$  が  $40 \mu \text{ m}^2$  以上であれば、非線形位相シフトを 1. 0 r a d 以下に抑えることができる。さらに、ロスマージンを考慮して  $P_{in}$  を高くする場合があり、現状では 1 チャネルあたり最低 7 d B m (約 5 mW) までは  $P_{in}$  を高くすることができる。この場合、グラフより、 $A_{eff}$  が  $50 \mu \text{ m}^2$  以上であれば、非線形位相シフトを 1. 0 r a d 以下に抑えることができる。

#### 【0 1 0 1】

##### 【発明の効果】

広い波長範囲に渡って、信号光の波形劣化を十分に抑えることができる光伝送路及び光伝送システムが実現される。

##### 【図面の簡単な説明】

##### 【図 1】

本発明による光伝送路及び光伝送システムの一実施形態を示す概略構成図である。

##### 【図 2】

(a) ~ (c) は、負分散ファイバ 1 1, 1 3 及び正分散ファイバ 1 2 として、それぞれ表 1 ~ 表 3 に諸元を示す光ファイバを用いた場合において、光伝送路 1 0 の累積分散と入力端からの距離との関係を示すグラフである。

##### 【図 3】

図 1 の光伝送路 1 0 の一変形例を示す概略構成図である。

【図 4】

図 1 の光伝送路 1 0 の他の変形例を示す概略構成図である。

【図 5】

図 1 の光伝送路 1 0 の他の変形例を示す概略構成図である。

【図 6】

負分散ファイバ 4 1、分散マネジメントファイバ 4 2、及び正分散ファイバ 4 3 として、それぞれ表 4 に諸元を示す光ファイバを用いた場合において、光伝送路 4 0 の累積分散と入力端からの距離との関係を示すグラフである。

【図 7】

図 1 の光伝送路 1 0 の他の変形例を示す概略構成図である。

【図 8】

図 7 の負分散ファイバ 5 1 の一構成例を示す概略構成図である。

【図 9】

図 7 の正分散ファイバ 5 2 の一構成例を示す概略構成図である。

【図 1 0】

図 1 の実施形態による光伝送路の効果を確認するための実験に用いた光伝送路を示す概略構成図である。

【図 1 1】

(a) 及び (b) は、図 1 0 の実験において、伝送ペナルティと光ファイバ 8 1 の分散値との関係を測定した結果を示すグラフである。

【図 1 2】

2 本の光ファイバを互いに接続する場合において、接続ロスと 2 本の光ファイバの MFD の比との関係を求めた実験結果を示すグラフである。

【図 1 3】

光ファイバにおける非線形位相シフトと実効断面積との関係を求めた実験結果を示すグラフである。

【符号の説明】

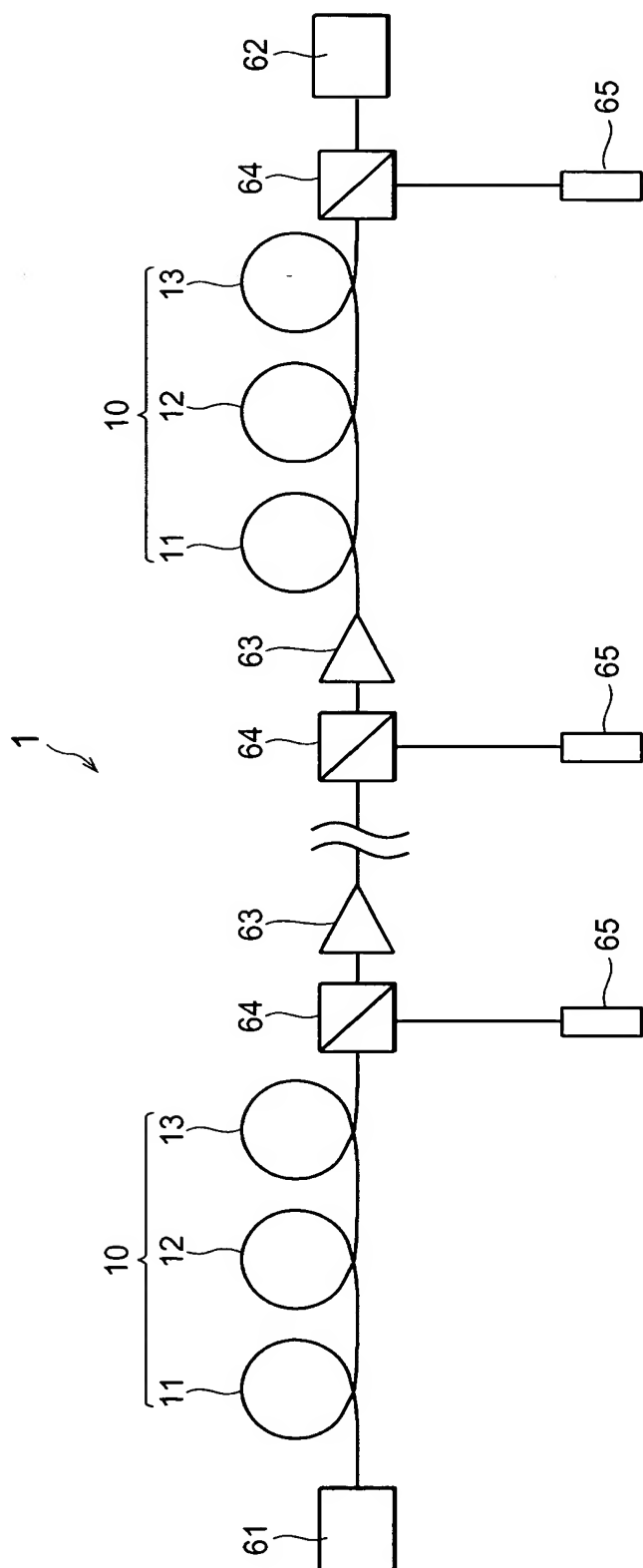
1 … 光伝送システム、1 0, 2 0, 3 0, 4 0, 5 0 … 光伝送路、1 1, 1 3

， 3 1， 4 1， 5 1…負分散ファイバ、 1 2， 3 3， 4 3， 5 2…正分散ファイバ、 2 1， 2 2， 2 3…光ファイバ、 3 2…分散シフトファイバ、 4 2…分散マネジメントファイバ、 6 1…送信器、 6 2…受信器、 6 3…中継器、 6 4…光カプラ、 6 5…励起光源。

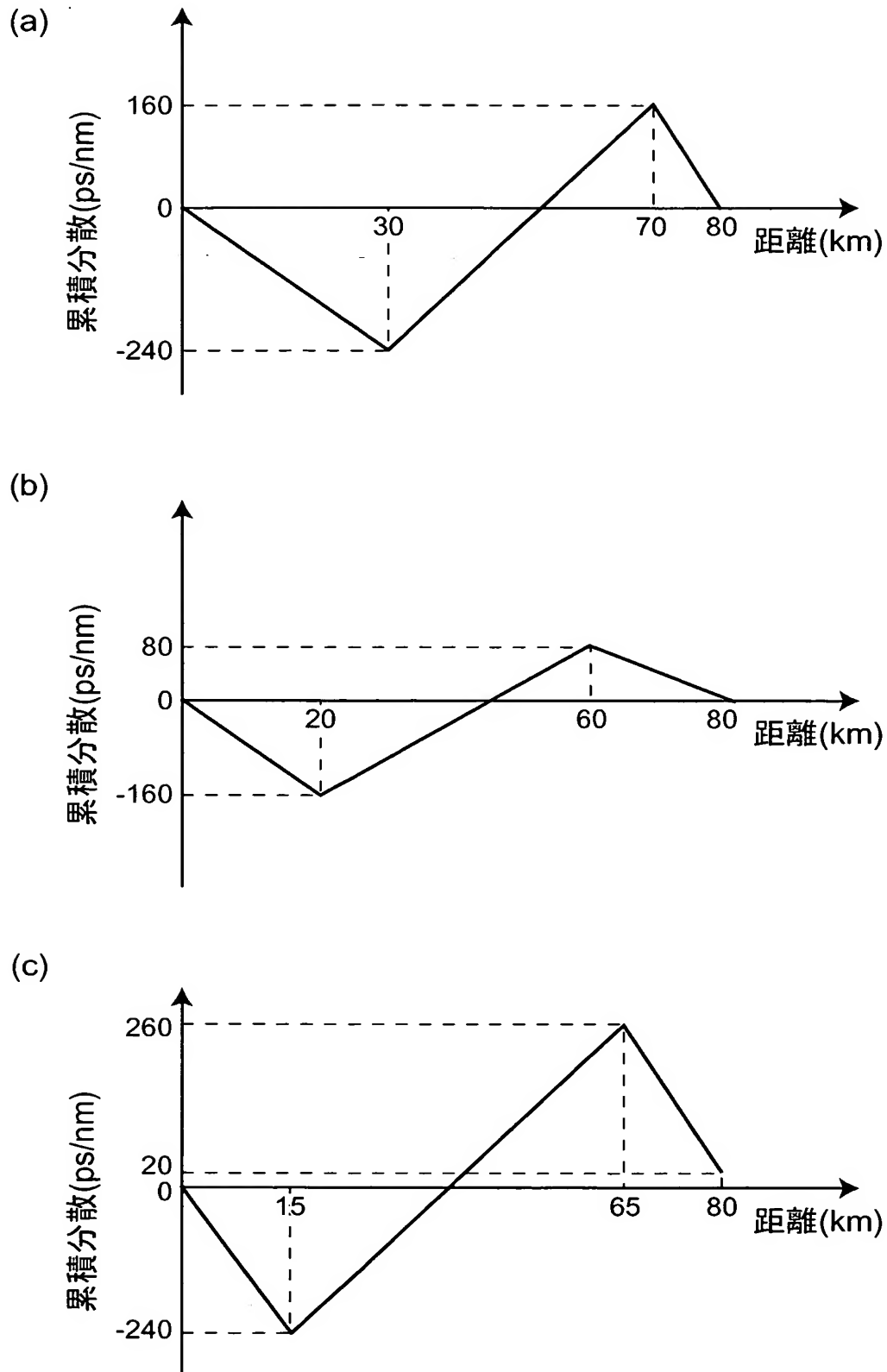
【書類名】

図面

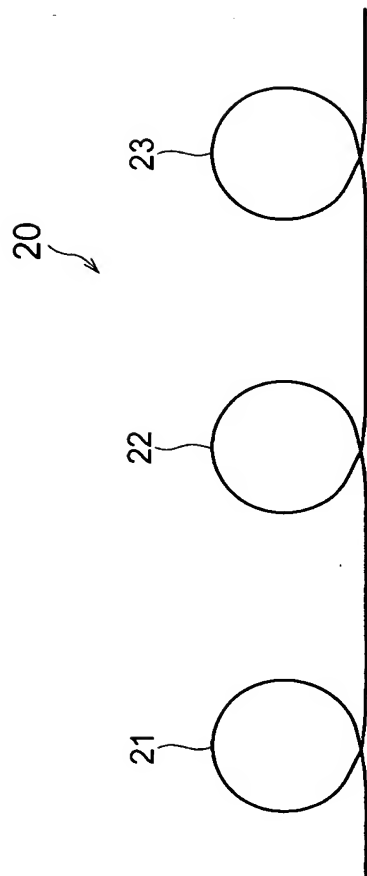
【図 1】



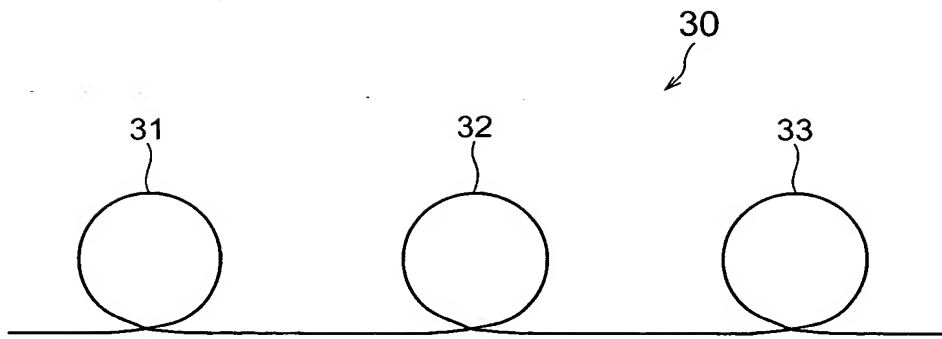
【図 2】



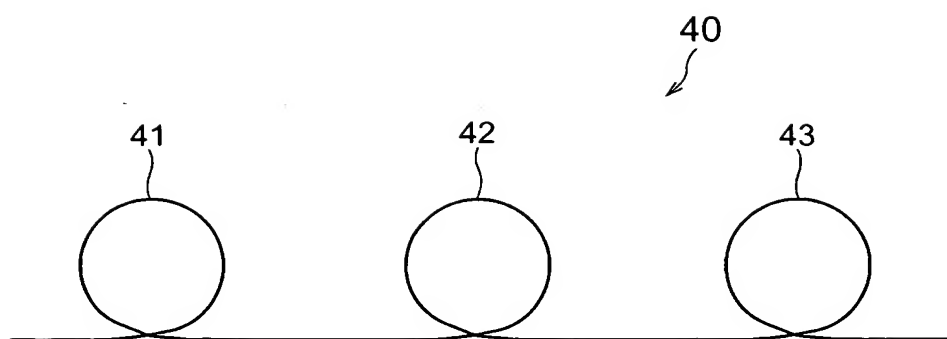
【図 3】



【図 4】

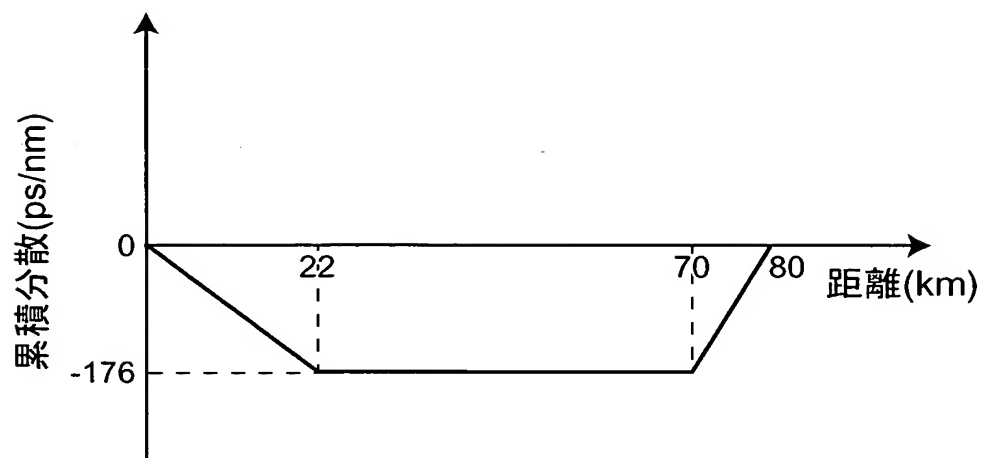


【図 5】

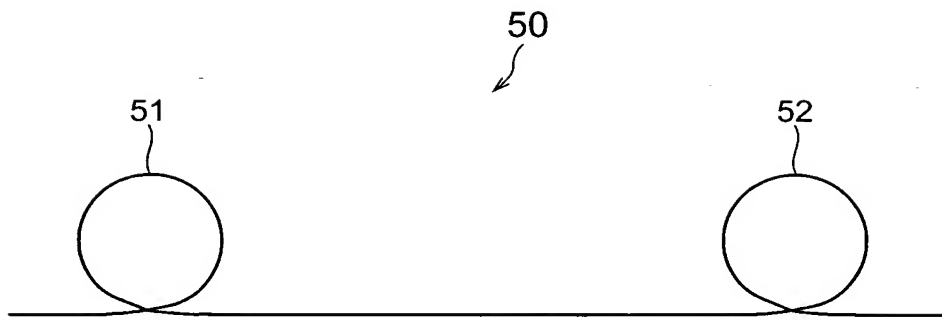




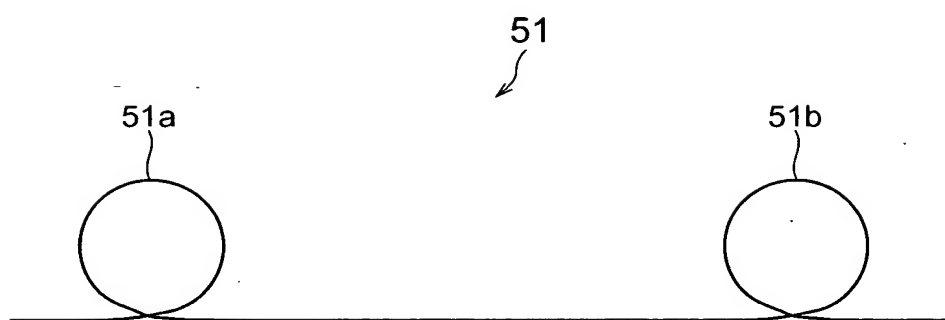
【図 6】



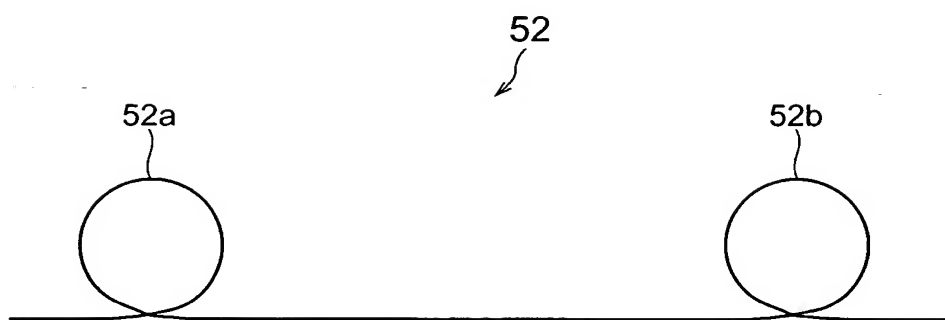
【図 7】



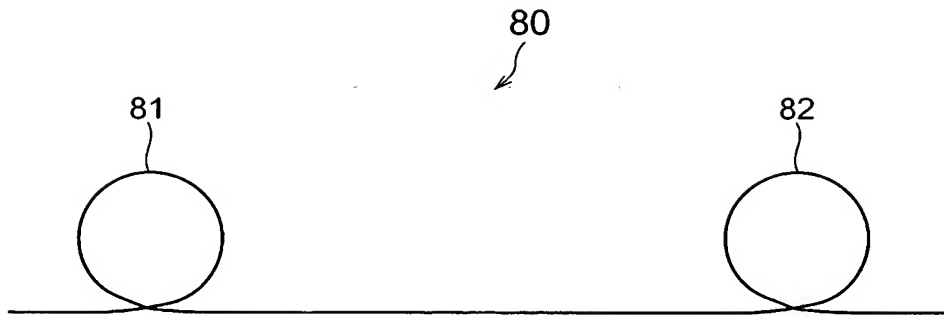
【図 8】



【図 9】

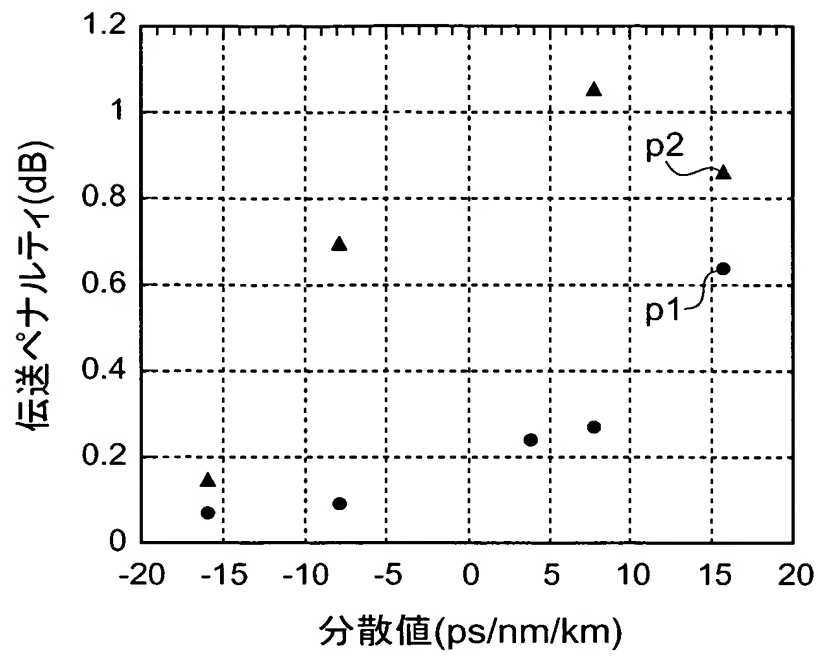


【図 10】

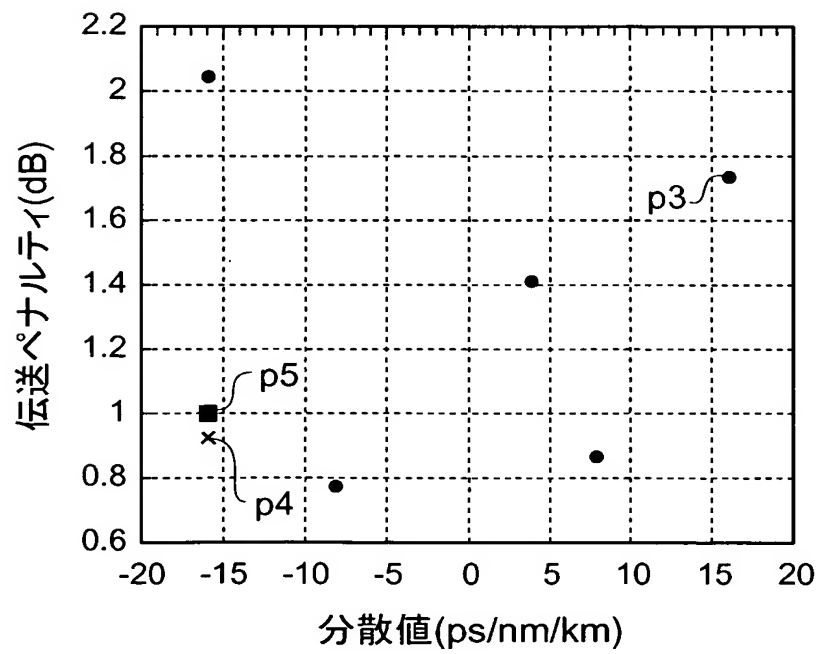


【図 11】

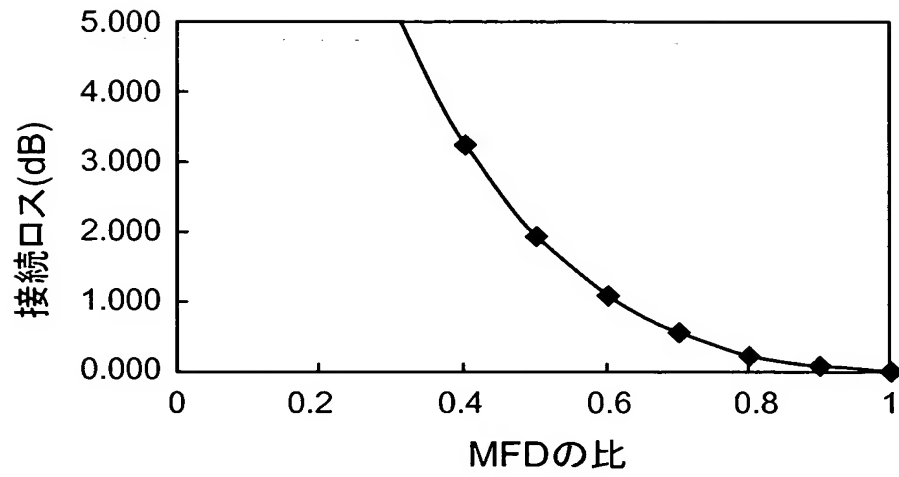
(a)



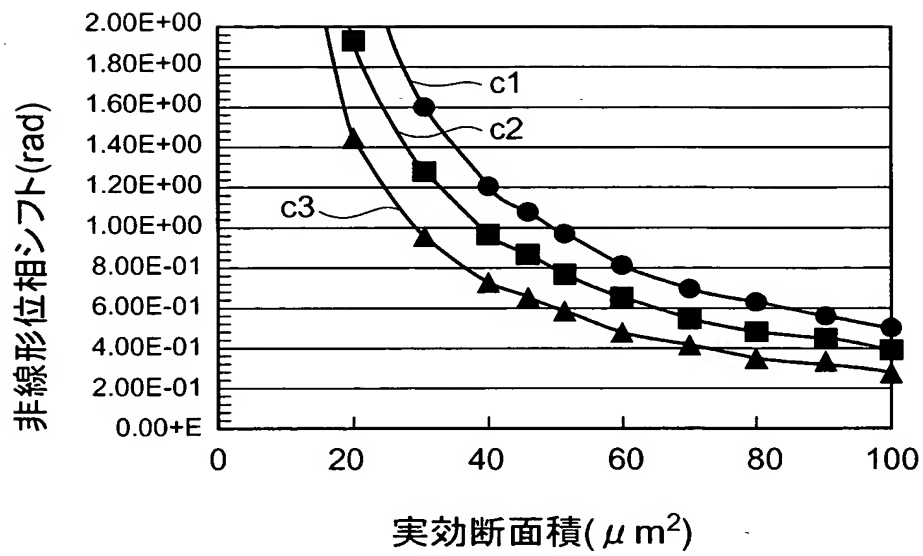
(b)



【図 1 2】



【図 13】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 広い波長範囲に渡って、信号光の波形劣化を充分に抑えることができる光伝送路及び光伝送システムを提供する。

【解決手段】 光伝送システム 1 において、各中継区間を光伝送路 10 が構成している。この光伝送路 10 は、負分散ファイバ 11、正分散ファイバ 12 及び負分散ファイバ 13 が、この順に縦列接続されて構成されている。負分散ファイバ 11 は、1450 nm～1600 nm の範囲内の所定波長において、分散スロープの絶対値が  $0.03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$  以下であり、且つ全分散が  $-5 \text{ ps/nm}$  以下である。一方、負分散ファイバ 13 は、上記所定波長において、全分散が  $-5 \text{ ps/nm}$  以下である。また、上記所定波長において、負分散ファイバ 11 と正分散ファイバ 12 との全分散の和は、 $5 \text{ ps/nm}$  以上である。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 1 1 7 2 6 8

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 2 1 3 0 ]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

氏 名 住友電気工業株式会社